

ESTUDO DA SISMICIDADE EM PORTUGAL NO PERÍODO 1300-2014: MAPA DE INTENSIDADE MÁXIMA OBSERVADA (IMO)

CÉLIA FERRÃO

*Centro de Geofísica de Évora, Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, 59 Évora, Portugal,
ccarmoferrao@gmail.com*

MOURAD BEZZEGHOUD, BENTO CALDEIRA, JOSÉ F. BORGES

*Centro de Geofísica de Évora, Departamento de Física, Rua Romão Ramalho, 59 Évora, Portugal,
mourad@uevora.pt, bafcc@uevora.pt, jborges@uevora.pt*

O estudo da sismicidade em Portugal, ao longo de várias centenas de anos é essencial para uma melhor avaliação do risco sísmico ao qual o continente está sujeito. Neste trabalho, a organização de diversas fontes históricas e atuais numa base de dados possibilita validar facilmente a ocorrência de eventos sísmicos no período desde 1300 a 2014. A construção de um mapa de intensidades máximas observadas neste período permite mostrar que todo o território Português esteve sujeito a sismos com IoV. Existem também registos de grandes eventos sísmicos, concentrados em pequenas áreas, que causaram danos consideráveis. De destacar ainda o impacto dos sismos com epicentro no mar, nas cidades costeiras, no Centro e Sul do país.

1 Introdução

Portugal continental apresenta uma sismicidade muito heterogénea, tanto ao nível da distribuição espacial como da frequência e magnitude das ocorrências. Grosso modo, a sismicidade aumenta em termos de magnitude e de frequência, de Norte para Sul, com uma distribuição espacial caracterizada por concentrações (“clusters”) em pequenas áreas, na região Centro e Sul e na margem Atlântica adjacente. Os dados de sismicidade descrevem “clusters” na área circundante à cidade de Évora, nas regiões de Lisboa e do Vale Inferior do Tejo (VIT), ao longo da costa Algarvia, principalmente a SW do Cabo de São Vicente (CSV) e no Banco de Gorringe (BG) [3].

A partir dos dados do último século tomamos conhecimento da existência de uma elevada atividade sísmica na região Atlântica adjacente do continente Português, devido à proximidade geográfica entre a fronteira das placas tectónicas, Africana (AF) e Euroasiática (EU). Neste padrão de sismicidade destaca-se a área a SW do CSV, provavelmente a de maior atividade sísmica.

O risco sísmico em Portugal continental e respectiva região Atlântica adjacente é caracterizado por eventos sísmicos, moderados a fortes, com localização em terra e elevados a muito elevados, no mar [23]. Atendendo a que esta perigosidade sísmica é um facto com que temos de viver, a investigação relativa ao risco sísmico nesta área é muito importante [2].

A caracterização das intensidades máximas observadas em Portugal continental e respectiva região Atlântica adjacente produzidas por cada sismo registado no período histórico e instrumental, correspondente ao período [1300-2014], constitui uma importante ferramenta

de análise para a avaliação do risco sísmico. O mapa de Intensidade Máxima Observada (IMO), que vamos apresentar neste estudo, permitirá realçar áreas de elevada, média e baixa perigosidade sísmica em Portugal. Esse mapa foi obtido a partir de uma compilação da intensidade máxima observada (I_o) para cada evento.

A I_o para cada evento foi repartida em dois períodos. O período [1300-1985], correspondendo ao período histórico e [1986-2014] para o período instrumental.

Na utilização de dados referentes ao período histórico constataram-se vários problemas, de que se destaca o da subjetividade humana associada à descrição dos fenómenos. De modo a minimizar esse problema foram analisadas diferentes descrições da intensidade do mesmo fenómeno, utilizando as várias fontes históricas que foi necessário compilar.

Dessa análise verificamos em primeiro lugar que foram sentidos sismos com uma intensidade máxima observada, I_oV em todo o território Nacional e na sua margem Atlântica adjacente. Constatam-se pequenas áreas sujeitas a I_oVI , na região sul, nas proximidades da cidade de Évora, na região do Algarve e na região do VIT, incluindo a cidade de Lisboa.

Existem registos de grandes acontecimentos sísmicos, em terra e no mar, alguns dos quais causando elevados danos e prejuízos. Os sismos históricos, com epicentros no mar, têm um impacto significativo em terra, principalmente nas cidades costeiras, no Centro e Sul do país.

O mapa de IMO contém os dados analisados no período [1300-2014], com I_oV . Os dados inseridos para construção do mapa de IMO foram submetidos a uma interpolação através do método *Kriging* [8][10]. O método *Kriging* é um importante instrumento na avaliação de zonas de significativo risco sísmico em Portugal na medida em que é, sob o ponto de vista físico-matemático, o mais adequado na utilização de dados macrossísmicos [1][21].

Na representação do mapa de IMO foram utilizados 202 registos de intensidade máxima observada, correspondendo a 172 eventos sísmicos.

A sismicidade de Portugal continental e a sua região Atlântica adjacente está representada na Figura 1.

O mapa de IMO no período [1300-2014] é representado entre as coordenadas geográficas seguintes: [11.0-6]° W e [36.5-42.5]° N, Figura 3(a).

2 Sismicidade

A sismicidade em Portugal continental e na sua região Atlântica adjacente é caracterizada por uma distribuição heterogénea, de eventos de pequena magnitude, $M < 5,0$, ocasionalmente misturados com eventos de magnitudes mais elevada $5,0 < M < 7,8$ [3].

A sismicidade referente ao período [1300-2014] foi representada para os sismos mais significativos (Figura 1). No período [1300-1960] foram considerados os eventos com I_oVII , baseados maioritariamente nos dados existentes no catálogo de Oliveira (1986). No período [1961-2014] consideraram-se os sismos de $M4$, utilizando os dados existentes na base de dados do Instituto Português do Mar e da Atmosfera, IPMA (Lisboa, Portugal).

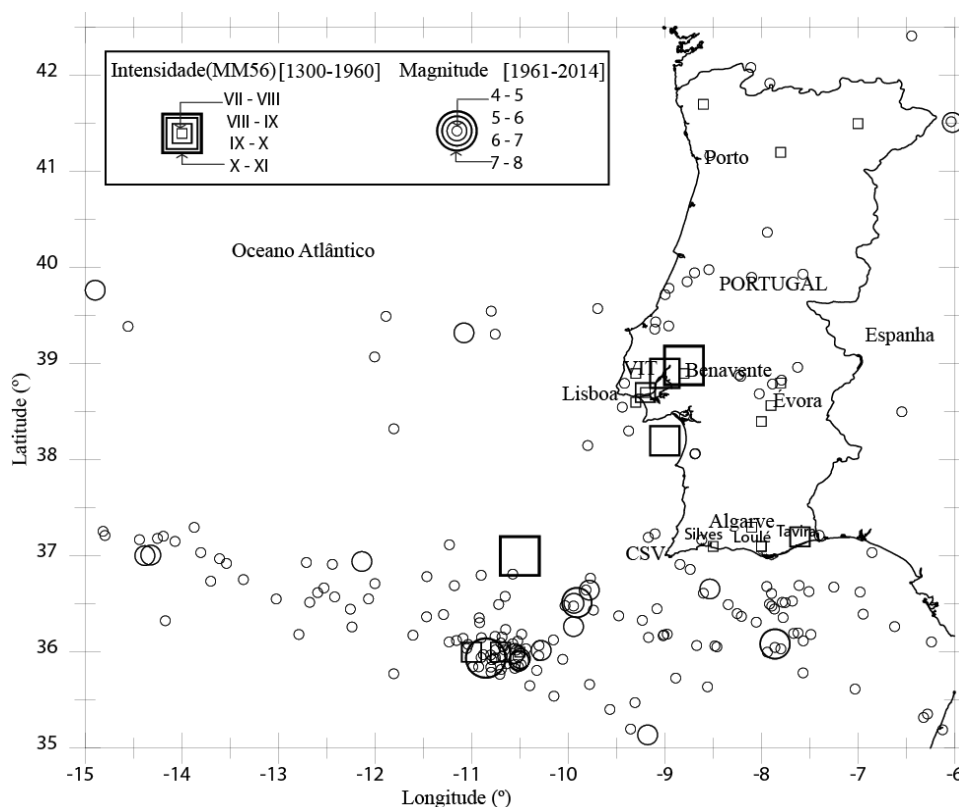


Figura 1. Sismicidade em Portugal continental e região Atlântica adjacente para o período [1300-2014].

A divisão da sismicidade nestes dois períodos fundamentou-se na evolução da cobertura da rede sísmica Nacional. Em Portugal continental e região Atlântica adjacente o conhecimento da sismicidade é condicionado por uma deficiente e descontínua rede sísmica. A rede sísmica Nacional teve início no princípio do século 20, como consequência da ocorrência de sismos de elevada intensidade, como o de 23 de abril de 1909 e mais tarde o de 28 de fevereiro de 1969. Até meados da década de 1990 a rede sísmica Nacional revelou ser insuficiente, na capacidade de deteção, como resultado da baixa qualidade de instrumentação e simultaneamente na elevada dispersão geográfica das estações, cobrindo apenas cerca de 20% dos eventos assinalados [20].

Após diversas tentativas de melhoria e cobertura da rede sísmica Nacional, no período [2006-2009], foram instaladas 22 estações sísmicas de banda larga. A partir daqui tornou-se possível registar todos os eventos sísmicos, desde os microssismos até aos de elevada magnitude. Simultaneamente, existem outras entidades que têm equipamento sísmico, como as Universidades de Évora e Lisboa, permitindo a aquisição de dados de melhor qualidade e possibilitando uma melhor caracterização do risco sísmico [4].

A tabela 1 apresenta os parâmetros considerados de alguns dos sismos mais significativos utilizados neste trabalho.

Tabela 1. Sismos em Portugal e na sua região Atlântica adjacente no período [1961-2014] com $M \geq 5.5$ e Intensidade Máxima Observada, $I_o \geq 8$ na escala MM56 no período [1300-1960]. A magnitude (M) é expressa utilizando diferentes escalas: Magnitude baseada nas ondas superficiais (Ms), Magnitude Local (ML) e Magnitude de momento (Mw). Lat. (latitude), Long. (Longitude).

Data			Localização	Io	M	Observações
22-02-1309	-11.0	36.0	Epicentro (mar)	VIII-IX	-	Sentido em Portugal e Europa, sem prejuízos.
01-01-1344	-8.8	38.9	Benavente	VII-VIII	-	Destruição da Capela em Lisboa. Registo de mortos e destruição de edifícios.
1353	-8.1	37.3	Silves	VII-VIII	-	A maior parte da cidade de Silves ficou destruída.
24-08-1356	-10.7	36.0	Epicentro (mar)	VIII-IX	-	Sentido em todo o Mundo. Queda e destruição de edifícios. Duração de 15 minutos, duas vezes, seguido de réplicas. Danos semelhantes aos sismos de 1531 e 1755.
28-01-1512	-9.2	38.7	Lisboa	VIII	-	Registo da queda de 200 edifícios e 2000 mortos.
26-01-1531	-9.0	38.9	Vila Franca de Xira	IX	-	Destruição de templos e 1500 edifícios. Rio Tejo agitado, transbordando as margens. Elevada atividade sísmica. Réplicas.
11 - 1587	-8.0	37.1	Loulé	VII-VIII	-	Destruição da vila de Loulé com registo de cerca de 170 mortos.
27-12-1722	-7.6	37.2	Epicentro (mar)	VIII	-	Registo da queda de igrejas, mosteiros e casas. Duração de uma Avé Maria.
01-11-1755	-10.5	37.0	Epicentro (mar)	X		Destruição da maior parte da cidade de Lisboa. Sentido em toda a Europa. Registo de Tsunami e muitas réplicas.
12-01-1856	-8.0	37.1	Tavira	VII-VIII	-	Registo de danos em templos e casas (Algarve). Fortes ruídos subterrâneos. Várias réplicas.
11-11-1858	-9.0	38.2	Epicentro (mar)	VIII	(Ms=8.5)	Abalos preliminares. Registo de mortos e feridos. Ruína de edifícios em Lisboa e Setúbal.
23-04-1909	-8.8	39.0	Benavente	X		Violentos choques. Destruição de várias cidades e danos sentidos por todo o país.
11-09-1910	-7.8	38.8	Redondo	VII-VIII	-	Sem informação.
15-03-1964	-7.9	36.1	Epicentro (mar)	VII	(Ms=6.2)	Muitas réplicas e Tsunami.
28-02-1969	-10.9	35.9	Epicentro (mar)	VIII		Muitas réplicas e Tsunami. Registo de 13 vítimas mortais. Sentido em todo o país, com maior intensidade no Algarve. Sentido nas Canárias e Bordéus.

12-02-2007	-10.5	35.9	Epicentro (mar)	V		Sentido em Portugal, nalgumas cidades de Espanha e Marrocos. Sem registo de danos.
17-12-2009	-9.9	36.5	Epicentro (mar)	V		Choques seguidos de réplicas. Sentido em Portugal, principalmente no Algarve. Sem registo de danos. Sismo mais intenso registado, desde 1969.

1.1. Sismicidade no período [1300-1960]

No período [1300-1960], os dados registados da intensidade máxima observada foram fundamentados com base na perceção humana, as descrições dos efeitos dos sismos, danos e prejuízos.

A utilização de dados relativos a sismos históricos é afetada de inúmeros fatores, tais como a fiabilidade, a insuficiência de dados para avaliação das intensidades, a incerteza na localização dos acontecimentos e a veracidade da real ocorrência dos eventos. De modo a minimizar os erros associados aos dados, como as questões relacionadas com a certeza da sua qualidade e até a própria existência do sismo, foi introduzido um conjunto de filtros como método de orientação [12].

A decisão final dos eventos foi tomada criteriosamente, através de uma análise cuidada dos documentos existentes, de modo a não duplicar eventos [7]. Devido ao elevado número de parâmetros que influenciam a caracterização de um determinado evento sísmico, tornou-se necessário verificar o máximo número de dados. Analisamos a documentação existente, bem como o valor das fontes. Ponderamos a possível extrapolação na descrição dos efeitos dos sismos, através da sua análise, considerando as áreas geográficas, culturais e históricas. No entanto, algumas das fontes citadas nem sempre se encontravam disponíveis, não sendo possível uma análise mais detalhada.

Outro dos problemas associado ao trabalho com dados históricos é a divergência espaço-tempo na localização dos eventos, isto é, as mesmas descrições são atribuídas a diferentes sismos e por vezes o contrário.

De modo a minimizar os erros associados aos dados históricos, construiu-se uma base de dados para todos os eventos. A base de dados produzida pretende potenciar a fiabilidade dos dados de um sismo, sendo de extrema importância para avaliar o risco sísmico de Portugal. A base de dados foi estruturada de modo a compilar os eventos sísmicos, utilizando um conjunto de informação que permite comprovar a existência e caracterização dos mesmos. Sempre que possível, foram utilizadas diferentes fontes, catálogos e textos originais, associados ao respetivo evento. Assim, foram recolhidas as fontes de referência do evento e os principais dados de caracterização do sismo, como a data, o tempo de ocorrência, a localização (latitude, longitude), a magnitude e a sua intensidade. Quando os dados eram insuficientes, o sismo foi retirado da base de dados.

Neste trabalho, a análise de fontes históricas baseou-se na compilação de trabalhos como o de Moreira de Mendonça (1758), contendo um elevado número de descrições (incluindo referências); Perrey (1847) e; Pereira de Sousa (1919a, 1919b, 1928, 1932).

De acordo com os dados históricos, a maioria dos sismos estão localizados na região Sul de Portugal continental. De realçar os eventos na região do Alentejo, concentrados próximo da cidade de Évora e ao longo da região do Algarve. Sismos fortes ocorreram na costa Algarvia, como o sismo de 27 de dezembro de 1722 ($I_o = VIII$). As regiões Norte e Centro de Portugal são caracterizadas por uma baixa sismicidade e poucos eventos, os quais se encontram muito dispersos. A exceção é a região do VIT, orientada na direcção NE, e a parte Sul de Lisboa, com uma área aproximadamente de 3200km² [22]. Baseado na sismicidade histórica, na região do VIT ocorreram três grandes sismos, os de 1344 ($I_o = VII-VIII$), 1531 ($I_o = IX$) e 1909 ($I_o = X$).

Ainda que os eventos sísmicos apresentem maioritariamente uma intensidade moderada, existe também registo da ocorrência de sismos de intensidade mais elevada, ainda que menos frequentes, como o sismo de 1755 ($I_o = X$) e 1909 ($I_o = X$) [6].

1.2. Sismicidade no período [1961-2014]

Os dados referentes à sismicidade no período [1961-2014] mostram a ocorrência de sismos dispersos por todo o continente Português e margem Atlântica adjacente. Destacando-se sismos de elevada magnitude, localizados no mar, como o sismo de 28 de fevereiro 1969 ($M_w = 8.5$), a SW do CSV [6].

A Figura 1, mostra ainda que ao longo dos últimos cem anos, [1900-2000], na parte Oeste da Península Ibérica podemos considerar 4 zonas de elevada sismicidade, o VIT, o BG, a zona costeira do Algarve e a região de Évora [2][3].

3 Processamento dos Dados

A avaliação do risco sísmico para Portugal continental e região Atlântica adjacente foi feita considerando dois períodos de tempo (histórico e instrumental) e localizando a intensidade máxima observada.

No período [1300-2014] utilizaram-se dados de 172 eventos sísmicos. Destes eventos, 38 tiveram epicentro no mar e dos quais 37 apresentam uma intensidade máxima observada no continente Português. No período histórico, [1300-1985] consideram-se 157 dados de eventos sísmicos com $I_o V$, existentes em catálogos históricos. No período mais recente, [1986-2014], utilizaram-se dados de 15 eventos sísmicos, referidos em artigos [2][5][9] e na base de dados do IPMA.

Em virtude da utilização de diferentes fontes, foi necessário converter as diferentes escalas macrossísmicas apenas para uma escala. Todas as intensidades foram convertidas para a escala Modificada de Mercalli -56 [13].

Os dados para cada sismo foram sujeitos a um método de filtragem. No caso de existirem diferentes I_o no mesmo local, permanece a de valor mais elevado. Para cada evento foi considerado apenas o valor da I_o , o qual poderia corresponder a várias localizações ou apenas a uma.

Para os sismos históricos, foi incluído um fator de qualidade (FQ), associado à intensidade máxima observada, permitindo associar diferentes níveis de qualidade aos dados utilizados para cada evento, Tabela 2 [14]. A todos os sismos relativos ao período instrumental foi

associado o factor de qualidade a .

Tabela 2. Fator de qualidade (FQ) associado a cada sismo em estudo: data, tempo, epicentro (latitude, longitude), Magnitude, Intensidade.

QF	Dados	Tempo	Epicentro	Magnitude	Intensidade
a	Informação correta.	Precisão em minutos.	Dados macrossísmicos. Localização exata.	Existência de cartas de isossistas.	Dados suficientes. Erro $<0,5^\circ$.
b	Incerteza no dia.	Precisão em horas.	Dados macrossísmicos. Localização incerta.	Intensidade sentida em alguns locais.	Dados suficientes. Erro até $1,0^\circ$.
c	Incerteza no mês.	Precisão no período do dia.	Poucos dados.	Apenas vagas descrições.	Dados insuficientes. Erro $[1.5-2.0]^\circ$.
d	Incerteza do evento (natureza).	Totalmente desconhecido.	-	-	-

No processamento de dados foram efetuados diversos procedimentos. Desde a verificação do melhor método a aplicar, bem como a melhor e mais correta forma de representação do mapa de IMO.

O resultado final da avaliação do risco sísmico depende diretamente do processamento dos dados. O cuidado no tratamento dos dados da atividade sísmica na margem Atlântica adjacente de Portugal é por isso fundamental. Realçando o facto de sismos de elevada magnitude, com epicentro no mar, como os sismos de 1 de novembro de 1755 e o de 28 de fevereiro de 1969, terem sido fortemente sentidos no território, alterando e condicionando o risco sísmico de Portugal.

Os sismos com epicentros localizados no mar tiveram por isso um tratamento diferenciado dos sismos em terra. De modo a visualizar a influência dos sismos no mar, considerou-se uma classificação com base na intensidade máxima sentida em terra, de modo a termos noção da sua ordem de grandeza. Supondo que para estes eventos, sempre que tinham um valor de intensidade máxima observada no território Português, teriam igual valor no seu epicentro. Designando este valor de intensidade máxima estimada. Deste modo foi possível produzir um mapa (Figura 2) no qual é nítido o impacto projetado destes sismos (mar) no continente.

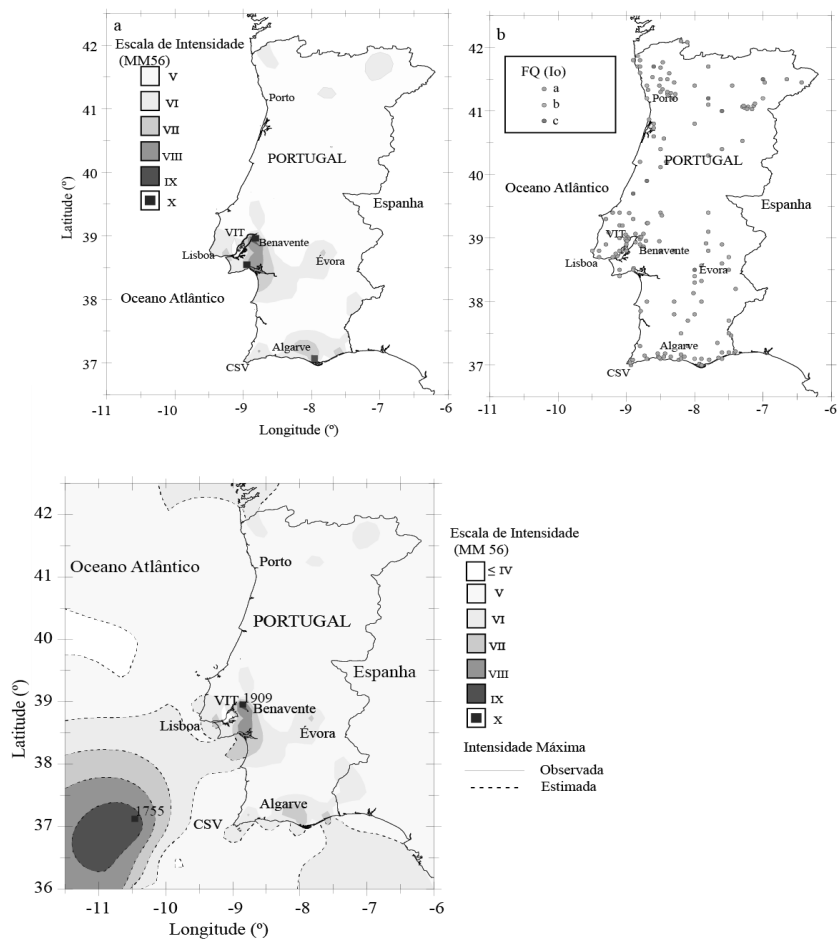


Figura 2. Mapa de Intensidade Máxima Observada e Estimada.

No entanto, em virtude das intensidades máximas observadas representarem a interpretação dos danos e prejuízos assentes nas descrições humanas, foi produzido o mapa final de IMO.

4 Mapa de Intensidade Máxima Observada (IMO)

Este estudo proporciona a construção de um mapa IMO para Portugal, baseado na actividade sísmica que ocorreu nos últimos 700 anos.

Considerando-se os eventos sísmicos que ocorreram em Portugal no período [1300-2014] com IoV, desenhou-se o mapa de IMO, Figura 3(a).

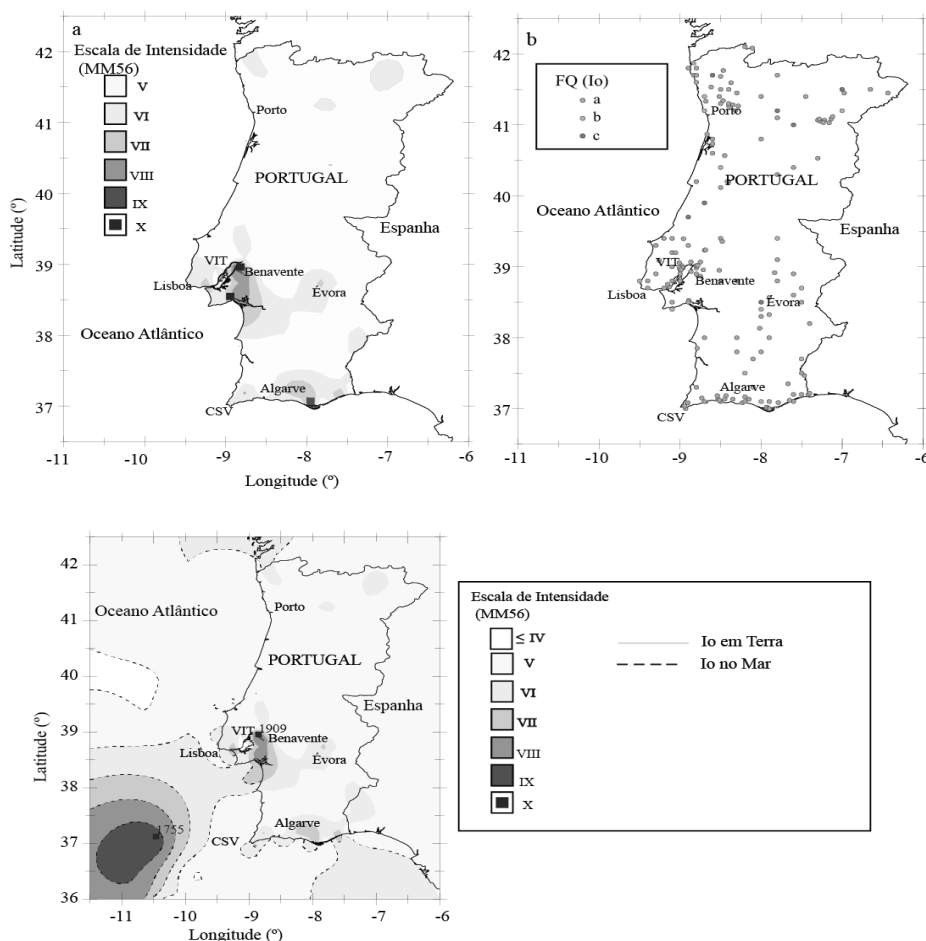


Figura 3(a). Mapa de Intensidade Máxima Observada no período [1300-2014] e (b). Representação do FQ associada à Io dos eventos sísmicos projetados na Figura 3(a).

A Figura 3(a) representa o mapa IMO, utilizando apenas as intensidades máximas observadas no território Português. Durante o período [1300-2014], em todo o território existe registo de grandes eventos sísmicos, alguns dos quais causaram danos consideráveis. Todo o território Português esteve sujeito a sismos com IoV.

A Figura 3(a) apresenta áreas com intensidades entre VI-VII, concentradas em torno da cidade de Évora, na região Sul de Lisboa, do VIT e ao longo da costa Algarvia. No Norte e Centro de Portugal, o mapa de IMO mostra pequenas áreas, dispersas, onde existem intensidades VI-VII que correspondem a uma pequena concentração de eventos.

O mapa de IMO foi produzido a partir de uma base de dados que permitiu extrair as informações de um determinado evento sísmico, construindo um conjunto de dados por evento:

data; tempo de ocorrência; localização (latitude, longitude); localidade onde o sismo foi sentido com maior intensidade; intensidade máxima observada e respetivo fator de qualidade, magnitude e referências (autores ou agência). O mapa de IMO representado na Figura 3(a) mostra o impacto dos sismos localizados em terra e no mar e contribui fortemente para a avaliação do risco sísmico em Portugal.

A representação do FQ por evento, permite observar a qualidade dos dados associados à intensidade máxima observada, Figura 3(b). A observação do FQ permite provar a qualidade e confiança dos dados utilizados na construção do mapa de IMO.

A atividade sísmica na margem Atlântica adjacente é fundamental no processamento de dados. O resultado na caracterização do mapa de IMO depende diretamente do modo de inclusão desses dados, devido à proximidade da costa. Acresce o facto de que muitos dos sismos que apresentam elevada magnitude e intensidade estão localizados no mar, como por exemplo, o 1 de novembro de 1755 e o 28 de fevereiro de 1969. Estes eventos destacam-se porque determinam o risco sísmico de Portugal, devido às elevadas intensidades sentidas por todo o território.

A partir dos 172 eventos sísmicos considerados, obtiveram-se 202 dados. Alguns dos eventos utilizados possuíam mais do que uma intensidade máxima observada no continente. De todos os dados obtidos, 179 tinham associado um fator de qualidade a .

5 Conclusão

Este estudo permite a elaboração do primeiro mapa de IMO para Portugal continental.

A inclusão do factor de qualidade e respetiva representação, Figura 3(b), permitiu sustentar a fiabilidades dos procedimentos efectuados no tratamento dos dados.

O mapa de IMO, Figura 3(a), mostra que todo o território Português e a margem Atlântica adjacente foram afectados por IoV. O mapa de IMO mostra que no território Português o risco sísmico diminui de Sul para Norte, como esperado. Observando-se elevada concentração de eventos, com intensidades superiores a VI, na parte Sul de Lisboa e na região do VIT, representando estas áreas um elevado risco sísmico, devendo por isso ser melhorada a rede sísmica Nacional nestas regiões.

De evidenciar os eventos com epicentros no mar, que permitem salientar a vulnerabilidade das cidades costeiras.

O mapa de IMO é uma importante ferramenta para a avaliação do risco sísmico em Portugal, com base nos eventos decorridos ao longo do período [1300-2014]. Acrescendo ainda a importância deste mapa aquando da elaboração de Projetos de Engenharia, no âmbito da Protecção Civil e Ornamento do Território.

Agradecimentos

Este trabalho tem sido Financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT, Portugal) no âmbito do Projeto QuakeLoc-PT - PTDC/GEO-FIQ/3522/2012. Os autores agradecem o financiamento pelo centro de Geofísica de Évora, no âmbito do contrato com a FCT PEst-241 OE/CTE/UI0078/2011. Um agradecimento ao Instituto do Mar e da Atmos-

fera, IPMA (Lisboa, Portugal) pela disponibilização dos dados utilizados neste estudo. Um especial agradecimento ao João Fontiela, pelas frutíferas discussões que contribuíram para o melhoramento deste estudo.

Referências

1. Ayadi A. and Bezzeghoud, M., Seismicity of Algeria from 1365 to 2013: Maximum Observed Intensity Map (MOI2014), *Seismological Research Letter*, Early Edition, **86**, 1, 236-244, (2015). DOI:10.1785/0220140075.
2. Bezzeghoud, M., Borges, J.F. e Caldeira, B., Fontes sísmicas ao longo da fronteira de placas tectónicas entre os Açores e a Argélia: um modelo sismotectónico, *Chapter III.9 of the book «geologia do Portugal-Fontes sísmicas»*, (2012).
3. Borges, J. F., Fitas, A. J. S., Bezzeghoud, M. and Teves-Costa, P., Seismotectonics of Portugal and its adjacent Atlantic area, *Tectonophysics*, **337**, 373-387, (2001).
4. Caldeira, B., Carrilho, F., Miranda, M., Bezzeghoud, M., Alves, P.M., Silveira, G., Vilalonga F., Pena, J.A., Matias, L., Borges, J.F., Vales, D., Corela, C., and Madureira, G., Recent improvements in the Broadband seismic networks in Portugal, *EMSC Newsletters*, special issue, May 2007, **22**, 1819, (2007). ISSN 16071980.
5. Carrilho, F., Nunes, J., Pena, J., Catálogo sísmico de Portugal continental e região adjacente 1970–2000. *Instituto de Meteorologia*, Portugal, Lisboa, (2004).
6. Grandin, R., Borges, J. F., Bezzeghoud, M., Caldeira, B. and Carrilho, F., Simulations of strong ground motion in SW Iberia for the 1969 February 28 ($M_s = 8.0$) and the 1755 November 1 ($M \sim 8.5$) earthquakes– I. Velocity model. *Geophys. J. Int.*, **171**, 1144-1161, (2007).
7. Grünthal, G. (Editor), European Macroseismic Scale 1998 (up-dated MSK – scale), *Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, **15**, Conseil de l'Europe, Luxembourg, (1998).
8. Krige, D.G, A statistical approach to some mine valuations and allied problems at the Witwatersrand, *Master's thesis of the University of Witwatersrand*, (1951).
9. Le Goff, B., Borges, J. and Bezzeghoud, M., Intensity-distance attenuation laws for the Portugal mainland using intensity data points. *Geophysical Journal International*, (2014). DOI:10.1093/gji/ggu317.
10. Matheron, G., Principles of geostatistics, *Economic Geology*, **58**, 1246-1266, (1963).
11. Moreira de Mendonça, J., História universal dos terremotos, que tem havido no mundo, de que há notícia, desde a sua criação até o século presente. Com huma narração individual do terremoto do 1 de Novembro de 1755, e notícia verdadeira dos seus efeitos em Lisboa, todo Portugal, Algarves e mais partes da Europa, (1758).

12. Musson, R. M. W., Intensity assignments from historical earthquake data: issues of certainty and quality, *Annali di Geofisica*, **41**, 1, 79-81, (1998).
13. Musson, R., Grünthal, G. and Stucchi, M., The Comparasion of Macroseismic Intensity Scales. *J. Seismol.*, (2009). DOI:10.1007/s10950-009-9172-0.
14. Oliveira, C.S., A Sismicidade Histórica e a Revisão do Catálogo Sísmico, *Laboratório Nacional de Engenharia Civil*, Proc. 36/11/7368, Lisboa, (1986).
15. Pereira de Sousa, F.L., O terremoto do 1º de Novembro de 1755 em Portugal: um estudo demográfico.1ºvolume: Distritos de Faro, Beja e Évora, Tipografia do Comércio, Serviços Geológicos, 277p, (1919a).
16. Pereira de Sousa, F.L., O terremoto do 1º de Novembro de 1755 em Portugal: um estudo demográfico.2ºvolume: Distritos de Santarém e Portalegre, Tipografia do Comércio, Serviços Geológicos, 281-471, (1919b).
17. Pereira de Sousa, F.L., O terremoto do 1º de Novembro de 1755 em Portugal: um estudo demográfico.3ºvolume: Distritos de Lisboa, Tipografia do Comércio, Serviços Geológicos, 475-949, (1928).
18. Pereira de Sousa, F.L. O terremoto do 1º de Novembro de 1755 em Portugal: um estudo demográfico. 4ºvolume: Distritos de Leiria, Castelo Branco, Coimbra, Aveiro e Viseu, Tipografia do Comércio, Serviços Geológicos, 953-1014, (1932).
19. Perrey, A., Sur les tremblements de terre de la Péninsule Ibérique, *Annales des Sciences Physiques et Naturelles D'Agriculture et d'Industrie*, Lyon, **X**, 461-513, (1847).
20. Senos, L. e Carrilho, F., Sismicidade de Portugal Continental, Física de la Tierra, Sismicidade de la Peninsula Iberica, Eds: E. Buforn y A. Udias, **15**, 93-110, (2003).
21. Schenková, Z., Schenk, V., Kalogeras, I., Pichl, R., Kottnauer, P., Papatsimba, C. and Panopoulou, G., Isoleismal maps drawing by the kriging method, *J. Seismol.*, **11**, 121-129, (2007). DOI:10.1007/s10950-006-9023-1.
22. Teves-Costa, P., and Batllo, J., The 23 April 1909 Benavente earthquake (Portugal): macroseismic field revision, *J. Seismol.*, (2011). DOI:10.1007/s10950-010-9207-6.
23. Vilanova, S. and Fonseca, J., Probabilistic Seismic – Hazard Assessement for Portugal, *Bulletin of the Seismological*, (2007).